

SIB2/GSTOS-1 における開発状況

西村佳代子^{*1} 松崎恵一^{*2} 宮澤秀幸^{*1} 高木亮治^{*2} 山下美和子^{*3}
宮野喜和^{*1} 福田盛介^{*4} 馬場肇^{*5} 永松弘行^{*1} 山田隆弘^{*4}

Development status of SIB2/GSTOS-1

Kayoko NISHIMURA^{*1}, Keiichi MATSUZAKI^{*2}, Hideyuki MIYAZAWA^{*1}, Ryoji TAKAKI^{*2},
Miwako YAMASHITA^{*3}, Yoshikazu MIYANO^{*1}, Seisuke FUKUDA^{*4}, Hajime BABA^{*5}, Hiroyuki NAGAMATSU^{*1},
Takahiro YAMADA^{*4}

Abstract

GSTOS is Generic Spacecraft Test and Operations Software applied for test and operation system of future ISAS (Institute of Space and Aeronautical Science) spacecraft based on database SIB2 (Spacecraft Information Base version 2). SIB2/GSTOS-1 is a project to provide SIB2/GSTOS for SPRINT-A, ASTRO-H, Bepi/MMO. This paper describes goal, achievement relative to typical test and operation system for former ISAS spacecraft, development status and tasks for the future of SIB2/GSTOS-1.

概要

GSTOS (Generic Spacecraft Test and Operations Software; 汎用衛星試験運用ソフトウェア)は、ISAS (Institute of Space and Aeronautical Science) の今後の衛星の試験と運用に使用される汎用のソフトウェアであり、SIB2 (Spacecraft Information Base version 2) に基づき動作する。SIB2/GSTOS-1 プロジェクトは、SPRINT-A, ASTRO-H, Bepi/MMO 向けの SIB2/GSTOS を開発するプロジェクトである。本論文では、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトが目指すゴール、従来の ISAS における典型的な衛星試験・運用システムに対する改善点を述べるとともに、現在までの開発状況、今後の課題について述べる。

Keywords: functional test, spacecraft operation, SIB2, GSTOS

1. はじめに

ISAS の衛星開発・衛星運用で使用されている現行の衛星試験・運用システムは¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、のぞみ衛星と合わせて開発されたものであり、同一のワークステーション上で複数の衛星の運用をサポートするという特長を持つ。これまで、いくつかの問題点・リスクをかかえながらも、衛星ごとに開発・改良され、維持・運用されている。この衛星試験・運用システムを改善するため、山田は SIB2/GSTOS の構想を提案し、開発要求を設定した⁵⁾。これを具現化し、また、衛星試験・運用システムのその他の問題点を改善するため、ISAS は、SPRINT-A, ASTRO-H, Bepi/MMO を対象衛星とした、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトを立ち上げた⁶⁾。SIB2/GSTOS-1 プロジェクトは、SIB2/GSTOS 構想を基に、現行の衛星試験・運用システムの特長を生かしつつも、問題点を解消し、より効率的なシステム構築のため、システムを構成する汎用のソフトウェアを開発するプロジェクトである。

本論文では、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトの概要と開発状況及び今後の課題について述べる。まず、2 章では、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトにいたるまでの背景を、3 章では、開発方針、設定目標について示す。4 章で、現在までの開発状況と今後の課題について説明し、5 章にまとめる。

*1 宇宙科学研究所 科学衛星運用・データ利用センター (Center for Science Satellite Operation and Data Archive, ISAS)
*2 宇宙科学研究所 学際科学研究系 (Department of Interdisciplinary Space Science, ISAS)
*3 宇宙科学研究所 Bepi Colombo プロジェクトチーム (Bepi Colombo Project Team, ISAS)
*4 宇宙科学研究所 宇宙機応用工学研究系 (Department of Spacecraft Engineering, ISAS)
*5 宇宙科学研究所 科学推進部 (Management and Integration Department, ISAS)

2. 背景

2.1. 衛星運用

衛星運用とは、衛星に与えられたミッションを遂行するために、地上から、人工衛星の状態を監視し、人工衛星の制御を行うために必要な業務全般である。衛星運用を行うにあたって、必要となるのは、大きくわけて軌道力学系システム、地上局システム、衛星運用システムである。軌道力学系システムは、軌道予測・決定を行う機器で構成され、地上局システムは、地上にあるアンテナ及びアンテナで送受信する電波の変復調を行う機器で構成される。衛星運用システムは、衛星運用の計画作成、人工衛星の状態監視、人工衛星への制御を行う端末を含む機器で構成される。以下では、衛星運用システムを用いて、地上局と人工衛星が通信できる時間帯に、人工衛星の状態監視、人工衛星への制御を行うことを可視運用という。

可視運用中及び可視運用前後の各システムを用いた流れは以下のようになる(図1)。

[可視運用前]

- ・ 軌道力学系システムが衛星の軌道予測値を計算する。
- ・ 衛星運用システムで、衛星の軌道予測に従って、どの地上局で運用を行うかを決定し、可視運用のみならず非可視の運用を含めた、衛星運用の計画を作成する。この中には、ミッションや姿勢制御等の計画に従って、衛星に発行する制御コマンドなどが含まれる。

[可視運用中]

- ・ 地上局システムを経由して、衛星運用システムで衛星の状態監視や、衛星へのコマンド発行を行う。
- ・ 地上局システムでは、軌道決定に必要な測距データを取得する。

[可視運用後]

- ・ 可視運用で得られたテレメトリデータに対して、異常がないか診断を行う。
- ・ 可視運用で得られた測距データをもとに軌道力学系システムが衛星軌道を決定制・予測し、可視運用前の流れに戻る。

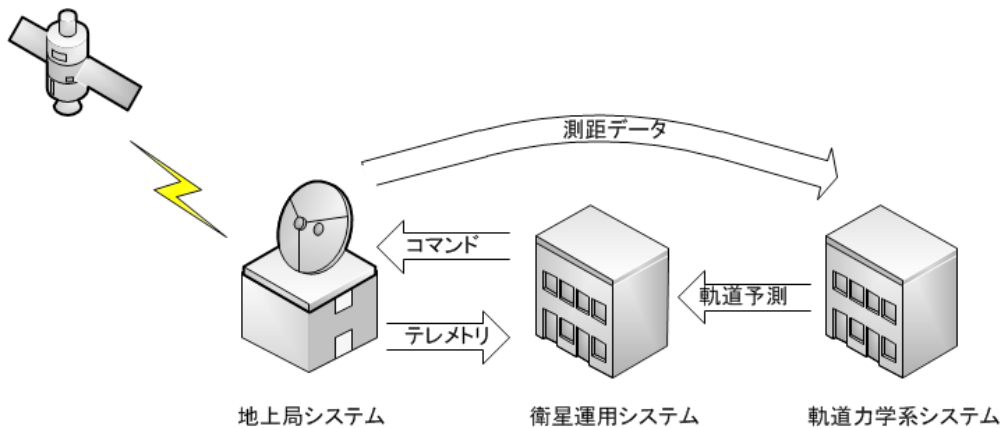


図1 衛星運用イメージ

2.2. ISASにおける衛星運用システム

ISASの現行の衛星運用システムは、典型的に、衛星の状態監視・制御、衛星運用の計画作成、衛星の診断を行うサブシステムで構成されている(図2, 表1)。本著では、衛星の状態監視・制御を行うサブシステムを、衛星試験及び衛星運用で使用されることから試験・運用系と呼び、また、計画作成や診断を行うサブシステムは、主に定常運用時で使用されることから定常運用系と呼ぶ。個々の衛星のテレメトリ・コマンドの定義情報はSIBというデータベースに登録され、テキストファイル形式で蓄積される。SIBを作成・管理するためのシステムをSIBシステムといい、SIBシステムも衛星運用システムに含まれる。試験・運用系、定常運用系それぞれのサブシステムが、SIBシステムから最新のSIBを取得し、衛星運用システム全体で共通のSIBに基づき動作する。試験・運用系とSIBシステムの部分は、可視運用向けのみならず、衛星試験時向けにも構築され、このばあい、衛星試験システムと呼ばれる。以下では、衛星運用システム、衛星試験システムを総称して、衛星試験・運用システムと呼ぶ。

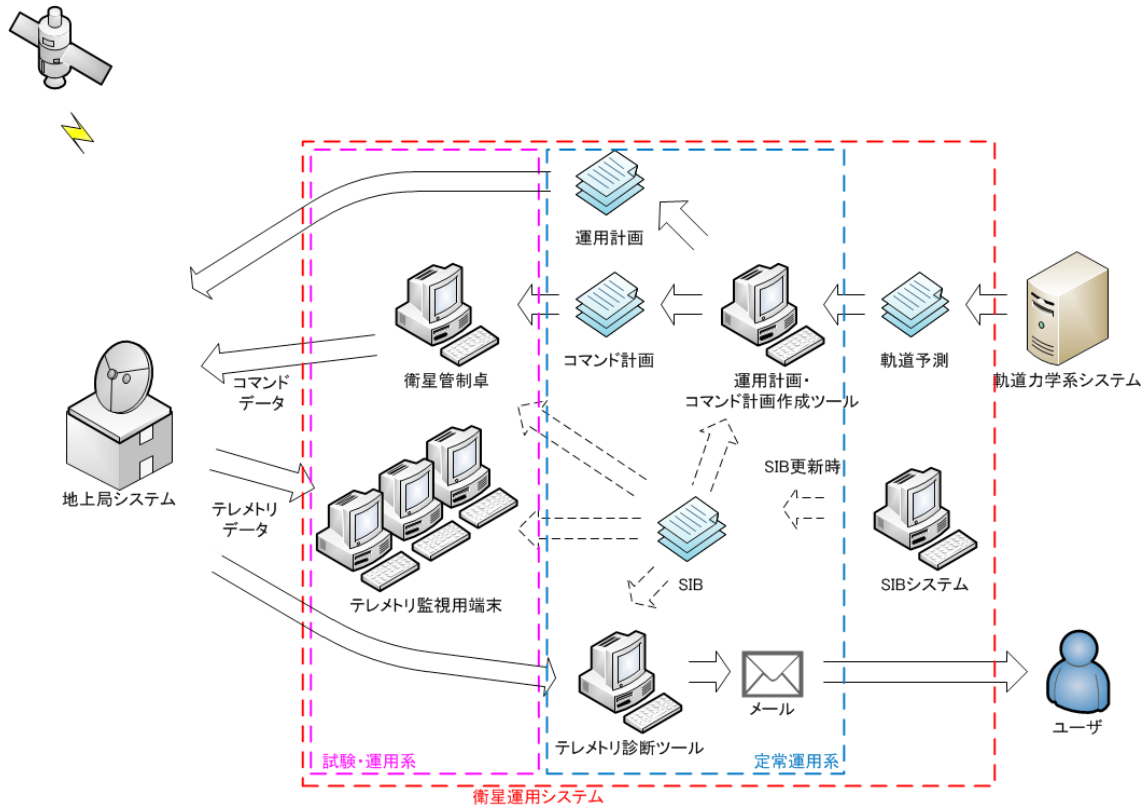


図 2 衛星運用システム

表 1 衛星運用システム構成要素

構成要素	機能概要
SIB 関連	-
SIB システム	SIB 作成, 構成管理
試験・運用系	-
衛星管制卓	衛星に対するコマンド発行, コマンド発行結果の照合
テレメトリ監視用端末 (状態監視卓, 共通 QL, PI QL)	現在や過去に衛星から受信したテレメトリの文字やグラフによる表示
定常運用系	-
運用計画・コマンド計画作成ツール	衛星運用の計画作成 コマンド計画ファイルの作成 計画内容の検証
テレメトリ診断ツール	テレメトリの内容のチェック, ユーザ通知

以下, ISAS の衛星運用システムを構成する個々のサブシステム・ツールについて各項で説明する。

2.2.1. SIB システム

SIB システムは, SIB の入力, 構成管理を行うためのツールで構成される。搭載機器の開発段階で, 機器設計者が入力ツールを通じて, 設計結果を SIB の各項目として定義を行う。また, 衛星システム担当者が機器の設計を取りまとめるとともに, 衛星システム全体の設計を, 入力ツールを通じて定義する。定義された情報はテキストファイル形式で出力される。衛星システム試験や衛星運用において, 衛星システム担当者が取りまとめた情報は, 衛星運用システムの他ツールやサブシステムに配布される。

2.2.2. 試験・運用系：衛星管制卓

衛星管制卓は、ユーザの画面操作により、衛星へコマンドを発行するために用いる。また、発行したコマンドの送信結果、実行結果などの照合を行う。衛星管制卓は、衛星打ち上げ後の可視運用時のみでなく、衛星試験時にも用いられる。衛星に対して発行するコマンドの内容は、テキストファイル形式のコマンド計画ファイルに記述しておく。コマンド計画ファイルは、運用計画・コマンド計画作成ツールなどの外部ツールで作成するか、衛星管制卓の内部機能で作成する。

2.2.3. 試験・運用系：テレメトリ監視用端末

テレメトリ監視用端末は、いずれの機器も、現在や過去に受信したテレメトリを文字やグラフで表示することにより、ユーザが衛星や搭載機器の状態を監視するために用いる。衛星管制卓と同様に、可視運用時のみでなく、衛星試験時にも用いられる。従来、対象ユーザや端末上の位置づけにより、テレメトリ監視用端末として、状態監視卓、共通 QL (Quick Look)、PI (Payload Instrument; 搭載機器) QL が存在し、主に、状態監視卓は衛星システム担当者、共通 QL はバス機器担当者、PI QL は各搭載機器担当者が利用する。ここで、端末名称に使用している QL とは、リアルタイムでテレメトリを画面表示し、衛星の状態を監視する業務を意味している。

2.2.4. 定常運用系：運用計画・コマンド計画作成ツール

運用計画・コマンド計画作成ツールは、衛星の定常運用におけるコマンド計画ファイルの作成を省力化するものであり、2つの部分、コマンド計画作成部、計画検証部から構成される。ここで、計画検証部には、運用計画作成部が含まれる。従来は、コマンド計画作成部にあたるものとして ISACS-PLN というシステムが開発・運用されてきた。コマンド計画作成部では、定常運用時に、衛星管制卓でコマンド発行時に使用するコマンド計画ファイルを作成する。「日照・日陰など、軌道上環境が切り替わる際にこのコマンドをこの順番で実行する」など、定常運用時のパターン化した運用要求を運用要求記述言語 (ORL; Operation Request Language) で記述し、日々変わる可視運用を行う局や時刻の情報を含む地上局情報や軌道上環境と組み合わせ、コマンド計画ファイルを作成する。

また、計画検証部では、地上局情報や軌道上環境、運用内容から、衛星や搭載機器の状態を簡易的に予測し、電力、データ容量、熱、姿勢などの制約条件があれば、それぞれ条件に対する検証を行う。運用計画作成部では、衛星の軌道予測をもとに、各地上局で可視運用を行える時間帯を計算し、運用計画ファイルを作成する。実際に、可視運用を行う時間は、他衛星等との調整を経て決められ、その結果が地上局情報としてコマンド計画作成部、計画検証部への入力となる。

2.2.5. 定常運用系：テレメトリ診断ツール

テレメトリ診断ツールは、衛星・搭載機器の異常状態をタイムリーに、機器担当者に知らせるためのものである。従来は ISACS-DOC というシステムが開発・運用されてきた。診断ルールに基づいて、可視運用中の衛星のリアルタイムテレメトリや、衛星に蓄積されたデータを再生したテレメトリ (リプロデータ) の値をチェックし、異常があれば機器担当者にメールで通知する。診断ルールには複数のテレメトリを参照する条件を設定できるなど、テレメトリ監視用端末上でチェックできない条件を設定可能である。

2.3. 従来の衛星運用システムの問題点

ISAS では、前節で説明したような衛星運用システムが開発・運用されてきたが、従来の衛星運用システムでは、以下の4つの問題点があり、衛星開発のコストやスケジュールに大きく影響を与えていた。

(1) 搭載機器の設計と SIB の関係についての問題点：

搭載機器の設計の記述レベルが設計者毎に異なる。SIB システムによる電子的管理が不十分で非効率的である。

(2) 運用計画・コマンド計画作成ツールの問題点：

運用計画・コマンド計画作成ツールのうち計画検証部は、衛星の打上前後に、若手研究者が作成していた。これは、本来研究に充てるべき時間をツールの作成やメンテナンスで消費することになり、科学的な生産性を落とすと共に、ツールの検証不足による不具合発生などのリスク要因となることが多い。

(3) 衛星プロジェクト毎の開発・運用体制の問題点：

衛星毎の新規性がほとんどない箇所でもプロジェクト毎に開発・運用を行い、それぞれのプロジェクトでメーカーと対応を行っており非効率である.. また、各サブシステムがソフトウェアを含むブラックボックスの装置として整備され、ソフトウェア部分の開発規模が不明瞭となり、開発・運用のコストや品質の管理が困難となるとともに装置毎にコストが発生することとなっている。

(4) 維持管理の問題点：

メーカーや JAXA 内の特定の個人のみが詳細な設計内容を把握しているという属人的な開発が行われてきたため維持管理に必要な設計情報が不足している。

これらの問題点を解消し、より効率的な衛星開発・衛星運用を行うことが可能なシステムを構築することをめざし、ISAS は、SPRINT-A, ASTRO-H, Bepi/MMO を対象衛星とした、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトを立ち上げた。なお、現在では、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトで開発したソフトウェアは、はやぶさ 2, ERG においても使用されている。

3. SIB2/GSTOS-1 プロジェクトの目標・開発方針

2.3 節で挙げた従来の ISAS の衛星運用システムの問題点に対して、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトでは、それぞれ以下に示す解決策を策定し、またこれらの解決策に対して表 2 に示す目標レベルを設定した。

- (1-1) 機能モデルによる衛星設計を実現
- (1-2) 従来を凌ぐ利便性の実現
- (2-1) 計画作成・検証系の汎用ツール化
- (3-1) 衛星毎の差分開発の極小化
- (3-2) ソフトウェア化し、開発元とは別の運用部隊による効率的な管理の実現
- (4-1) 利用者が理解可能な資料を整備
- (4-2) JAXA 側が差分開発を継続できるよう資料を整備

表 2 目標レベル

レベル	内容
ミニマムサクセス	各衛星プロジェクトのスケジュールに合わせてまずは必要最低限の機能を提供すること
	従来システムで実現していた基本的な機能を実現すること
フルサクセス	属人性の排除・文書化
	従来システムで実現していたすべての機能を実現すること
エクストラサクセス	その他の新機能の実装

また、より具体的な開発方針として、以下を設定した。SIB2/GSTOS-1 プロジェクトでは、これらの目標・開発方針に基づき、開発を実施した。

- (A) 試験・運用系については、従来のシステムと同レベルの機能を保持する。
- (B) 定常運用系については、既存のソフトウェアの機能の取捨選択を行う。
- (C) 衛星試験・運用で最低限必要な SIB2 と試験・運用系の検討・開発から着手
- (D) 検討フェーズでは、各衛星プロジェクトと協力し、従来システムに対する改善要求の洗い出しや、衛星設計との矛盾がないよう設計検討を行う。
- (E) 上記の改善要求などについては、共通部と衛星固有部に区別し、共通部の開発を SIB2/GSTOS チームで担当し、衛星固有部については、衛星プロジェクト側で担当することとする。

4. SIB2/GSTOS-1 プロジェクトにおける開発状況と今後の課題

SIB2/GSTOS-1 プロジェクトでは、従来の ISAS の衛星運用システムと山田の示す GSTOS への要求仕様⁴⁾を踏まえ、各サブシステムの機能定義を行い、ソフトウェアの開発を行った。試験・運用系、定常運用系ソフトウェアは、近年の衛星運用システムの計算機採用状況に合わせ RHEL(Red Hat Enterprise Linux) 系 OS を想定している。2013 年度上期現在、開発は一段落し、維持管理フェーズに入っている。SIB2 及び試験・運用系については、すでに複数の衛星プロジェクトの衛星試験で並行して使用されており、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトとして、不具合や改善内容の水平展開を効率よく行うことができている。定常運用系についても、衛星プロジェクトへの提供が始まり、軌道上運用での利用にむけた準備が進んでいる。ここで示した開発したツールや関連文書に関しては、専用 web ページを作成し、公開している。ただし、ダウンロードできるユーザについては各衛星プロジェクトに対して、アカウントを発行し、制限をかけている。

以下では、サブシステム・ツール毎に、現在までに開発した内容及び今後の課題について述べる。

4.1. SIB2

SIB2/GSTOS-1 プロジェクトでは、目標 (1-1) に示すように、搭載機器の機能設計方法を統一するために、機能設計に対する統一的な枠組みとして山田が提唱する衛星の機能モデル⁷⁾の概念を導入することを各衛星プロジェクトへ提案した。衛星の機能モデルとは、オブジェクト指向プログラミングにおけるオブジェクトの概念に基づく。衛星や搭載機器がもつ様々な機能のまとまりをクラスに似た機能オブジェクトとして定義したり、ステートマシンとして定義したりするのに加え、衛星や搭載機器設計固有な情報を定義する。従来の SIB にかわるデータベースとして、搭載機器が機能モデルに基づいて設計されていることを前提として、SIB2 のデータ構造設計を行った⁸⁾。これにより、入力ファイルにおいて、従来の SIB との互換性が無くなるとともに、扱う情報も多く、複雑になったため、従来よりも利便性の高い入力ツールの開発⁹⁾、履歴・構成管理方法の確立、また、従来検討不足であった SIB システムについて、ユーザが扱いやすくなるように検討・開発を行った (目標 1-2 に対応)。従来のシステムとの相違点の詳細は、現時点で以下の通りである。

- 機能モデルに基づくことで、SIB2 から衛星搭載ソフトウェアのテレメトリ・コマンドを処理する機能部分を自動で生成することが可能となった。また、これを実現するツール (SIB2Generator) を開発した¹⁰⁾。
- 従来の SIB では、衛星システム担当者が、機器の設計を手作業で取りまとめ、機器の設計を転記することで衛星全体の SIB を構築する必要があった。SIB2 では、衛星システム担当者の負担や作業ミスを軽減するよう、機器設計の定義内容をツールが自動でマージすることとした。
- SIB2 のデータベースの源泉 (機能情報個別定義) の表記には XML を採用することとし、機能情報個別定義はサブシステムや搭載機器など、任意の取りまとめ単位毎に複数の XML ファイルで構成した。XML ファイルを源泉とするため、SIB2 を入力するツール (SIB2 入力ツール; SIB2UI) には、XML ファイルを出力する機能のみならず、XML ファイルを取り込む機能も持たせた¹¹⁾。なお、SIB2 入力ツールなど Excel 上から XML を入出力するツールを効率よく開発するため、汎用なライブラリ xmlExcelHyper を開発し、各種のツールの構築に適用している。
- SIB2 の利用形態として、試験・運用系など従来の SIB の形式が利用しやすいサブシステム向けに、従来から利用していた SIB ファイルの形式 (配布用 SIB) を、新規の衛星に対応させたものを SIB2 テレコビューファイル形式と定義した。また、機能情報個別定義 XML ファイルをテレコビューファイル形式に変換するツール (テレコビュー変換ツール) を開発した。
- 従来のシステムでは、SIB を管理するため、RDB (Relational Data Base) に SIB を登録するサーバを配置したシステム構成となっていた。このサーバは有意義な機能を持っていなかったため、SIB2 では、このサーバと RDB を廃する設計とした。
- SIB2 の定義範囲を拡大するため、衛星運用システム開発メーカーが独自で持っていたツールについても洗い出し、JAXA 側で内容を把握・維持管理できるようにするなど、ツールの拡充を図った (テレメトリ表示画面定義ファイル作成ツール、衛星メモリ管理用ツール、搭載機器冗長系定義ツール)。また、これらのツールや SIB2UI など、SIB2 関連の全てのツールを一括でインストール可能なよう取りまとめたパッケージ (SIB2Suite) を開発した。
- 設計変更の履歴を残し、また、過去の設計に戻せるよう、汎用な履歴管理ソフトウェア (mercurial) を用い、履歴・構成管理を行うようにし、SIB2Suite にこの機能を持たせた。
- コマンド計画ファイルを誤りなく効率よく編集するため、SIB2 に基づく専用のエディタ (SIB2PlanEditor) を開発した⁹⁾。

- ・従来の SIB の定義項目のうち、テレメトリの値によりリミット範囲を変更する定義やグラフ表示画面定義など、一部複雑な定義については未対応。

各ツールの開発は完了し、各衛星プロジェクトにて使用されている。なお、今後の課題として、文書レベルが一部まだ不十分であることと、システム構成が検討不足なことから、ユーザが使いにくい状態になっている箇所があるため、ユーザの意見を収集し、SIB2/GSTOS チームにて、システム構成の見直しを行い、改善作業を進めていく。また、これまで未対応である搭載機器の経年変化による定義内容の切替等への対応についても検討する。

4.2. 試験・運用系

従来、ISAS は衛星管制卓、テレメトリ監視端末というように、衛星運用システム開発メーカーに対しての要求として、サービスを提供するシステムの開発・セットアップを依頼していた。SIB2/GSTOS-1 プロジェクトでは、それぞれ、ソフトウェアとして開発し、任意の数のハードウェアへ導入可能なようにすることとした。また、ソフトウェア化することにより、衛星毎の差が局在化するようにした(目標 3-1 に対応)。衛星管制卓・状態監視卓に対応するものとして、コマンド発行・状態監視ソフトウェアを開発し、共通 QL に対応するものとして、テレメトリ監視ソフトウェアの開発を行った。各ソフトウェアは従来と同等の機能を保持し、従来と同じシステム構成とすることが可能である。なお、コマンド発行・状態監視ソフトウェアのうち、状態監視ソフトウェアの機能は、SIB2/GSTOS-1 プロジェクトのスコープには無かったが、はやぶさ 2 プロジェクトの協力により開発されたものである。このほか、従来システムとの相違点は、以下の通りである。

コマンド発行・状態監視ソフトウェア

- ・従来から有する機能や信頼性を維持するため、従来の SIB ファイルの形式(配布用 SIB)を、新規の衛星に対応させたものである SIB2 テレコマピューファイルに基づき動作する設計とし、従来から衛星運用システム開発メーカーが有していたソフトウェアに対する微改修に留めた。なお、本ソフトウェアは、PC-Solaris 系と PC-Linux 系にマルチプラットフォーム対応した SELENE 衛星管制システム⁴⁾の流れを汲むあかつきにも対応したシステムを引き継いだものである。
- ・コマンド発行時に、テレメトリの値をチェックする機能、条件成立まで一時停止する機能を追加した(各機能に対応し、コマンド計画ファイルの文法も追加した;CHECK 文, WAIT_UNTIL 文)。
- ・コマンドのパラメータは、エンコード済みの 16 進数表記ではなく、パラメータ毎の工学値を指定できるようになった。

テレメトリ監視ソフトウェア

- ・従来に比べ文書の拡充を目指し、新規のソフトウェア開発を実施した。SIB2 に基づいて動作する設計とした。
- ・従来の共通 QL は、テレメトリ表示画面を作成・変更するには、開発メーカーへプログラムの改修の依頼が必要だった。テレメトリ監視ソフトウェアでは、機器担当者が自ら画面定義のツールを用いて定義を行えるようにした。
- ・ユーザ要求を踏まえ検索性など機能向上した。
- ・テレメトリの工学値変換の方法として、状態監視ソフトウェアと同一の C 言語の関数による変換、任意の関数式による変換を扱えるようにした。

両ソフトウェア共通

- ・従来、ソフトウェアのセットアップ手順は、メーカー内のみで保持されていた。SIB2/GSTOS-1 プロジェクトの試験・運用系ソフトウェアは、いずれも RPM (RedHat Package Manager) パッケージ化することで、インストール手順の簡略化を図ると共に、ユーザに対し、セットアップ手順を明らかとした。

各ソフトウェアの開発は完了し、SIB2 システムと合わせて実際に各衛星プロジェクトの衛星試験で使用されている。今後の課題としては、文書レベルが一部まだ不十分なので、ユーザの意見を収集し、改善作業を進めていく。

1 ただし、あかつきで使用されているシステムは PC-Solaris 系のみである。

4.3. 定常運用系

4.3.1. コマンド計画検証ソフトウェア

SIB2/GSTOS-1 プロジェクトでは、運用計画・コマンド計画作成ツールに対応するものとして、コマンド計画検証ソフトウェアの開発を行った。これは、従来のシステムでもある程度共通化されていたコマンド計画作成部、衛星プロジェクトそれぞれで衛星打ち上げ前後にインハウスでツールを作成するなどして対応していた運用計画作成部、計画検証部から構成される。このうち、計画検証部は、衛星毎の差が大きいことと、また、Bepi/MMO では既に一部ツールを作成していたこともあり、まずは近地球を対象を絞ることとして共通部の開発を行った。特に、SPRINT-A に対して全モジュールの構築を実施することで、モジュール構造にて目的を達成できることを示した。このほか、従来システムとの相違点は以下の通りである。

計画作成部

- ・従来のツールで仕様が不明確であった各コマンドの優先度や時刻の割付方法について明確にするため、新規に開発を実施した。
- ・運用要求記述言語の見直しを行った。見直すにあたっては、独自の言語設計がミニマムになるよう、プログラミング言語 Ruby の構文に沿うよう ORLG (Operation Request Language for GSTOS) を定義した。
- ・条件判断や衛星のモード遷移など高度な機能については現段階では未対応

計画検証部

- ・一つのソフトウェアではなく、複数のツール群として開発し、ツールは衛星毎に入れ替えられるようなモジュール構造とした。
- ・各種の計算モジュールは、座標系や精度が明らかになるよう仕様書を整備した。
- ・共通部を作成したことで、従来に比べ衛星プロジェクトの負担は少なくなった(目標 2-1, 3-1 に対応)。

計画検証部の運用計画作成部

- ・ひので衛星で開発されたプログラムを微改修し、SPRINT-A で使用する地上局に対応するモジュールを作成した。

今後は、ユーザの意見を収集し、改善作業を進めていく。

4.3.2. テレメトリ診断ソフトウェア

SIB2/GSTOS-1 プロジェクトでは、テレメトリ診断ツールに対応するものとして、テレメトリ診断ソフトウェアの開発を行った。従来システム (ISACS-DOC) と同様に、事前に設定した診断ルールに基づき、リアルタイムテレメトリおよびリプロデータの診断を行い、その結果をユーザに通知する。従来システムとの相違点は、以下の通りである。

- ・他のソフトと重複していた機能の整理を行った。特に、工学値変換の機能については、コマンド発行・状態監視ソフトウェアと同一のプログラムを利用する設計とした。特に、この整理により、従来は診断ルールとして記述されていた、複数のテレメトリを加工し新たな値を得る計算を、工学値変換エンジンの機能により実現した。
- ・SIB2 に定義されたリミットチェックはデフォルトで実施し、それ以外の診断ルールを別途設定することとした。
- ・現時点ではテレメトリを診断した結果をメールで通知する機能に限定している。グラフ表示機能、診断ルール入力インタフェース、データの時間方向の加工(フィルター機能など)については未対応。

今後は、ユーザの意見を収集し、改善作業を進めていく。

4.4. SIB2/GSTOS-1 プロジェクト全体としての目標達成状況

各ソフトウェアの開発状況を踏まえ、SIB2/GSTOS-1 プロジェクト全体としての目標(問題点に対する解決策)毎の達成状況を表 3 に、目標レベルの達成状況を表 4 に示す(○は達成、△は今後達成予定)。これを踏まえ、今後は各ソフトウェアの維持管理を行いながら、フルサクセス、エクストラサクセスを目指していく。

表 3 目標達成状況

従来システムの問題点		目標 (問題点に対する解決策)		状況
(1)	搭載機器の設計と SIB の関係についての問題点	(1-1)	機能モデルによる衛星設計を実現	○
		(1-2)	従来を凌ぐ利便性の実現	○
(2)	運用計画・コマンド計画作成ツールの問題点	(2-1)	計画作成・検証系の汎用ツール化	○
(3)	衛星プロジェクト毎の開発・運用体制の問題点	(3-1)	衛星毎の差分開発の極小化	○
		(3-2)	ソフトウェア化し、開発元とは別の運用部隊による効率的な管理の実現	△
(4)	維持管理の問題点	(4-1)	利用者が理解可能な資料を整備	△
		(4-2)	JAXA 側が差分開発を継続できるように資料を整備	△

表 4 目標レベル達成状況

レベル	内容	状況
ミニマムサクセス	各衛星プロジェクトにこのスケジュールに合わせてまずは必要最低限の機能を提供すること	○
	従来システムで実現していた基本的な機能を実現すること	○
フルサクセス	属人性の排除・文書化	△
	従来システムで実現していたすべての機能を実現すること	△
エクストラサクセス	その他の新機能の実装	△

5. まとめ

ISAS における衛星運用システムが抱えていた問題点を解消し、より効率的な衛星開発・衛星運用を行えるよう SIB2/GSTOS-1 プロジェクトとして SIB2 定義、各ソフトウェアの開発を行った。開発は完了し、各衛星プロジェクトでの衛星試験等で使用され、ミニマムサクセスは達成した。今後は、文書整備やユーザの意見収集による改善作業などを行うことにより、フルサクセス、エクストラサクセスの達成を目指している。

参考文献

- 1) 山田隆弘: 宇宙情報システム講義第1部 衛星データシステムをこう作ってきた (第1回 はじめに), PLAINセンターニュース第160号 (2007), pp. 1
- 2) 山田隆弘: 宇宙情報システム講義第1部 衛星データシステムをこう作ってきた (最終回 衛星運用), PLAINセンターニュース第166号 (2007), pp. 1
- 3) 栗山祐一, 久保雅嗣, 島村敬之, 江川宏, 春木和寿: X線天文衛星 ASTRO-E 対応衛星管制システムの開発, NAS 技法 No. 12(2001), pp. 40-45
- 4) 矢野昌邦, 島村敬之, 久保雅嗣, 大橋清一: 科学衛星向け衛星管制システム, NAS 技法 No. 17(2006), pp. 45-50
- 5) 山田隆弘: 汎用衛星試験運用ソフトウェア (GSTOS) 要求仕様 (案) 第0.4版, 2009年1月30日
- 6) 馬場肇, 松崎恵一, 福田盛介, 山田隆弘, 飯塚祐介, 山地尋之, 大石克己: SIB2/GSTOS1 の開発, 第11回宇宙科学シンポジウム, 2011年1月
- 7) Takahiro Yamada: Functional Model of Spacecraft (FMS) DRAFT, Issue 0.9, March 2011
- 8) 山田隆弘, 松崎恵一: 衛星情報ベース2定義 (案) 第0.9版, 2009年11月11日
- 9) Keiichi Matsuzaki, Takashi Kominato, Shinya Okunishi, Yoshikazu Miyano: SIB2/GSTOS Tools for Preparing Test Procedure – PlanEditor and SIB2Wiwer, 29th International Symposium on Space Technology and Science, 2013
- 10) Matsuzaki, K., Saito, T., Okunishi, S. and Kominato, T.: Automatic generation of on-board software from the model – Spacecraft Information Base Version 2 (SIB2), Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, 10, ists28 (2012), pp. Tf_11-17.
- 11) 松崎恵一, 山下美和子, 馬場肇, 西村佳代子, 宮野喜和: xmlExcelHyper を用いた SIB2UI の開発, 宇宙科学情報解析論文誌 第二号 (2013), pp. 113-130

謝辞

SIB2/GSTOS-1 プロジェクトは、日本電気株式会社、NEC 航空宇宙システム、NEC システムテクノロジー、富士通株式会社、富士通エフ・アイ・ピー・システムズの協力の下、各ソフトウェアの開発を実施しました。各社のエンジニアをはじめ、構想の具現化に協力を頂いた方々に、感謝の意を表します。